

## **Still-Schlepper – Flughafenvorfeldfahrzeug mit wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellenantrieb**

Dipl.-Ing. Andreas Brinner  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)  
Institut für Fahrzeugkonzepte  
Pfaffenwaldring 38-40, D-70569 Stuttgart

Tel: ++(0)711 685 74 Fax: ++(0)711 685 7465  
E-mail: [andreas.brinner@dlr.de](mailto:andreas.brinner@dlr.de)  
Internet: [www.dlr.de/fk](http://www.dlr.de/fk)



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

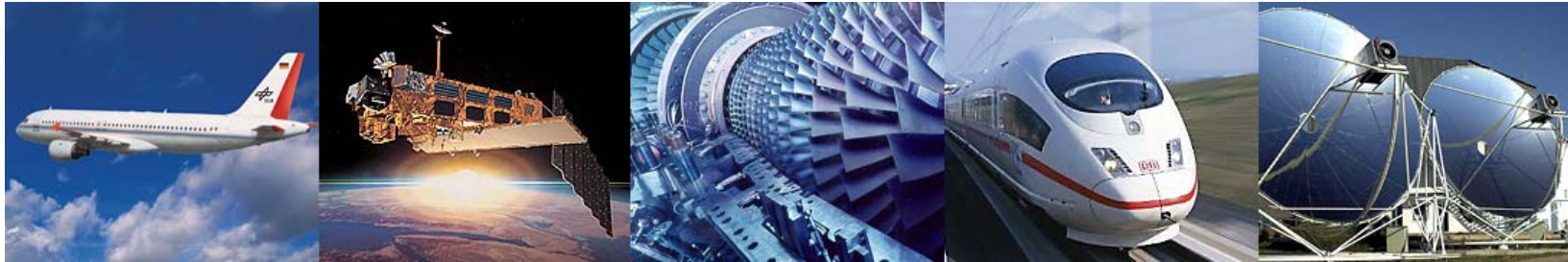


# Vortragsinhalt

- ▶ Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)
- ▶ Das Geschäftsfeld “Verkehr” im DLR
- ▶ Das DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte FK am Standort Stuttgart
- ▶ Brennstoffzellen-Systementwicklung im DLR Institut für Fahrzeugkonzepte
- ▶ Funktionsweise einer Brennstoffzelle
- ▶ Der neue Brennstoffzellen-Hybridschlepper des DLR
- ▶ Aktuelle DLR- und Partnerentwicklungen für Brennstoffzellensysteme

# Das DLR

## Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt



- Forschungseinrichtung
  - Luftfahrt
  - Raumfahrt
  - Energie
  - Verkehr
- Raumfahrt-Agentur
- Projektträger

# Standorte und Personal

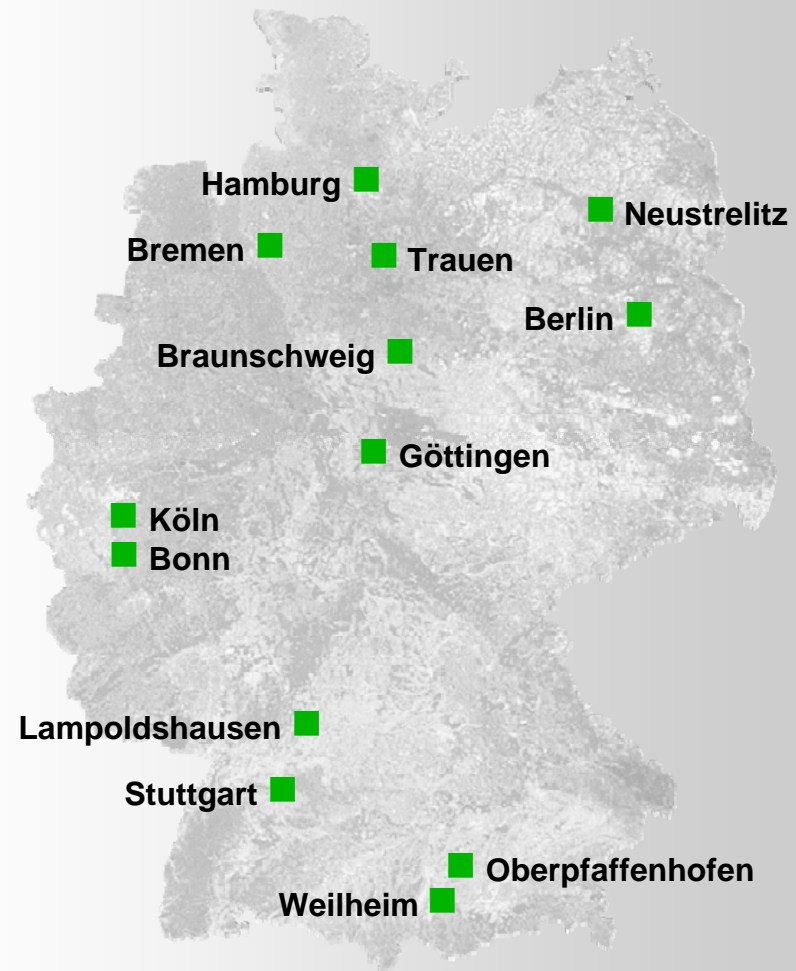
6.700 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter arbeiten in 33 Instituten und Einrichtungen in

■ 13 Standorten.

Büros in Brüssel,  
Paris und Washington.

Partner von

- ◆ European Transsonic Wind Tunnel (ETW)
- ◆ German Dutch Wind Tunnels (DNW)





## Vision

**Nachhaltige, sichere und finanzierbare  
„Individuelle Mobilität“**



**Innovative Fahrzeugkonzepte  
für Straße- und Schiene**

- ▶ Wesentlich **verbesserte Nutzung der Energiepotenziale** für Fahrzeug- und Transportsysteme
- ▶ Durchbruch bei **emissions- / CO<sub>2</sub>-freien/ neutralen Antriebstechnologien**
- ▶ Erweiterung der **Energieträger im Verkehr**

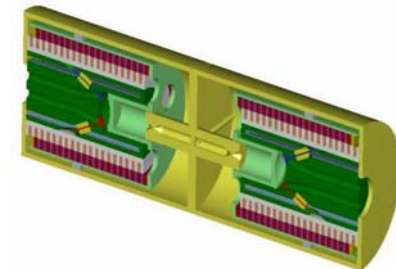
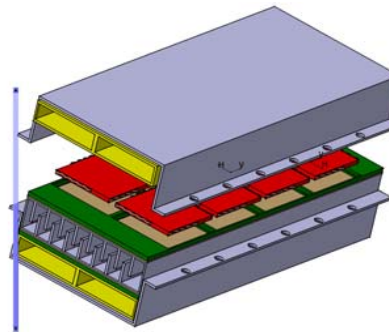
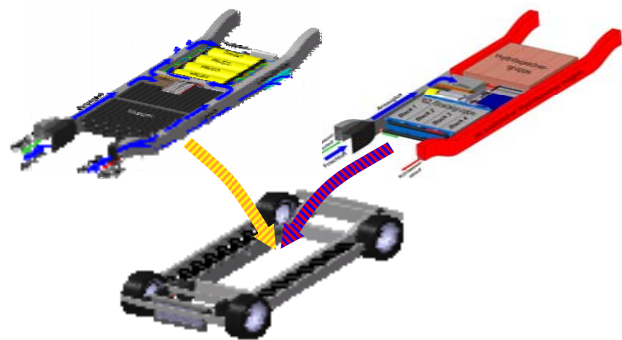
# Die Forschungsfelder des Instituts FK



FK **gestaltet** und **demonstriert** Innovationen für Fahrzeugkonzepte und Technologien zukünftiger anforderungsgerechter Transportsysteme

# Forschungsfelder Fahrzeugenergiekonzepte & Alternative Energiewandler

- ▶ **Elektrifizierung des Fahrzeug-Antriebsstrangs**
  - ↓ Reduktion der Abhängigkeit von fossilen Kraftstoffen durch Entwicklung von Elektrifizierungs- und Brennstoffzellensystemen
- ▶ **Nutzenergie-Rückgewinnung aus bisher ungenutzter Energieflüsse**
  - ↓ CO<sub>2</sub>-Minderung durch Energierückgewinnung aus dem Abgasstrom mittels TEG
- ▶ **Alternative Energiewandler mit hoher Effizienz**
  - ↓ FKLG- Konzept ermöglicht bis zu 20%  $\eta$ -Verbesserung gegenüber konventionellem Verbrennungsmotor (Otto-Motor)



# Forschungsfelder Fahrzeugenergiekonzepte & Alternative Energiewandler

## ► Sorptions-Wasserstoffspeicher

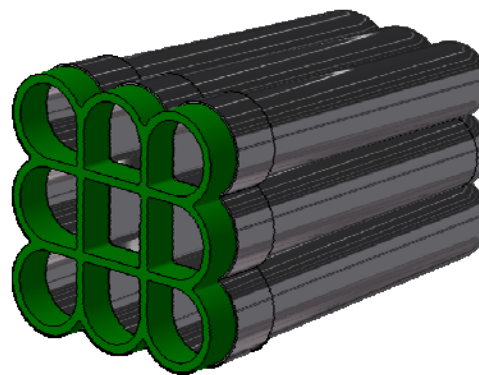
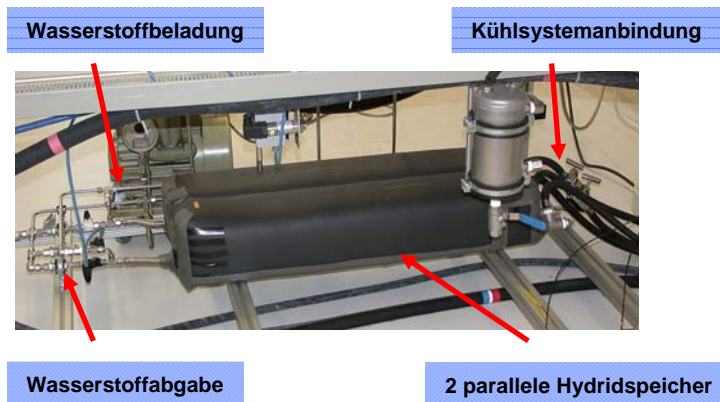
↓ Gasspeicherung bis zu 6,5 Gewichts-% des Speichergewichts, Reduktion des Energieaufwandes für die Speicherung um mehr als 60%

## ► Gastank

↓ 60% Gewichtsreduktion gegenüber konventionellen Stahltanks

## ► Untersuchung und Verbesserung neuer elektrischer Energiespeicher

↓ Doppelschichtkondensatoren/ Hochleistungs-Batterien in Elektro-Fahrzeugen

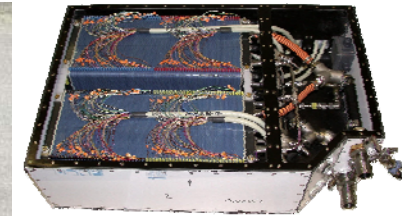




# Brennstoffzellen-Systementwicklung

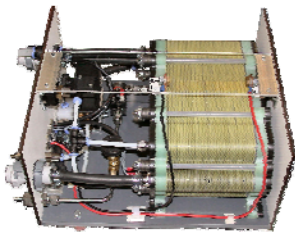
- ▶ Entwicklungsplattformen & Teststände
- ▶ Neue Systemkomponenten
- ▶ Systemkonzepte & Fahrzeugintegration
- ▶ Energiemanagement für Antrieb & Fahrzeug

## Strassenfahrzeuge



Projekt HyLite

## Projekt Flughafen-Gepäckschlepper



## Industriefahrzeuge

- ▶ „Minimales“ & robustes BZ-System
- ▶ Modularisierung
- ▶ Minimaler Eigenverbrauch
- ▶ Funktionsintegration in wenige Komponenten





# Vorteile von Wasserstoff und Brennstoffzellen

## **Wasserstoff:**

1. Kann aus Wasser gewonnen werden mit erneuerbarer Energie z.B. Sonnenenergie
2. Ist auf der ganzen Welt verfügbar
3. Verbrennt wieder zu Wasser

## **Brennstoffzellensysteme:**

1. Erzeugen elektrischen Strom direkt mit Wasserstoff und Luft-Sauerstoff
2. Erzeugen keine schädlichen Abgase sondern nur Wasserdampf
3. Haben keine beweglichen Teile, verschleissen nicht und können später preiswert hergestellt werden



## Die Grenzen des Wasserstoffs als Kraftstoff / Brennstoff

- Wasserstoff ist keine Energiequelle, sondern ein **Energieträger**. Er muss immer erst unter Aufwand von Primärenergie erzeugt werden.
- Wasserstoff ist ein **sauberer** Energieträger, aber in der ökologischen Gesamtbilanz kann er nicht besser dastehen als die Primärenergie, mit deren Hilfe er erzeugt wird.
- **Billiger** als diese Primärenergien kann er daher auch nicht sein.
- Wasserstoff und Brennstoffzellen stehen stets in Konkurrenz zu anderen umweltfreundlichen und nachhaltigen Technologien; sie sind kein Wunder- oder Universalheilmittel.



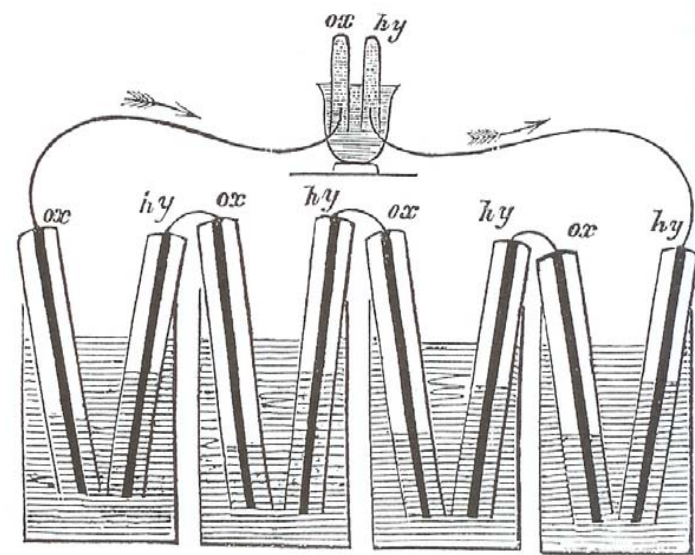
# Wer hat die Brennstoffzelle erfunden?

**Sir William Grove: Der Erfinder der Brennstoffzelle um 1842**



Sir William Robert Grove  
(July 11, 1811 - August 1, 1896)

Das ist Sir William Grove  
und sein Brennstoffzellen-  
Experiment von 1842



Grove's experiment of 1842  
Figure from Grove's publication of 1842 [3]

Diese Erfindung wurde gemacht, als man mit  
Pferdekutschen fuhr und Robert Schumann  
romantische Klavierkonzerte komponierte.



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Dipl.-Ing. Andreas Brinner  
Institut für Fahrzeugkonzepte

04.04.11



# Das Funktionsprinzip der Niedertemperatur-Brennstoffzelle

## PEFC (Polymer Electrolyte membrane Fuel Cell)

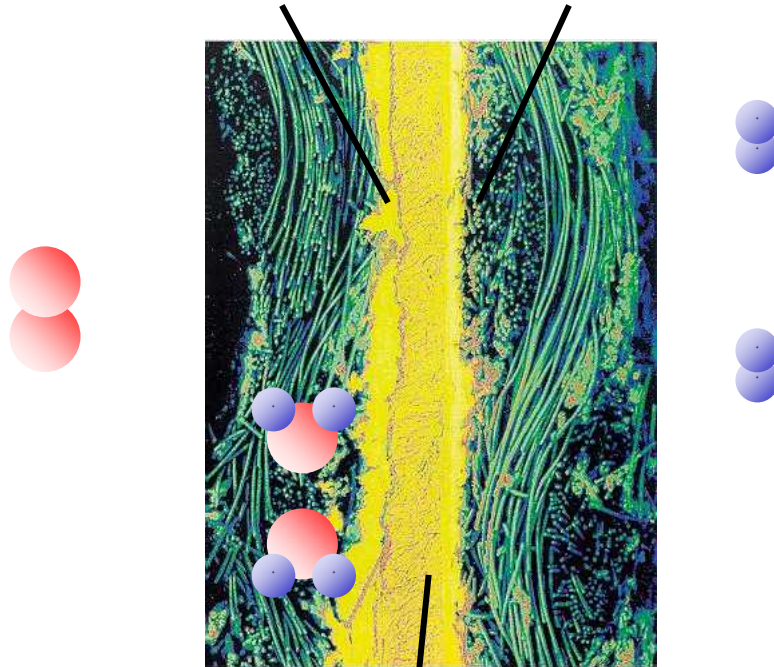


**Kathode**



**Anode**

- **Anode:** Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ) wird oxidiert (gibt Elektronen ab)



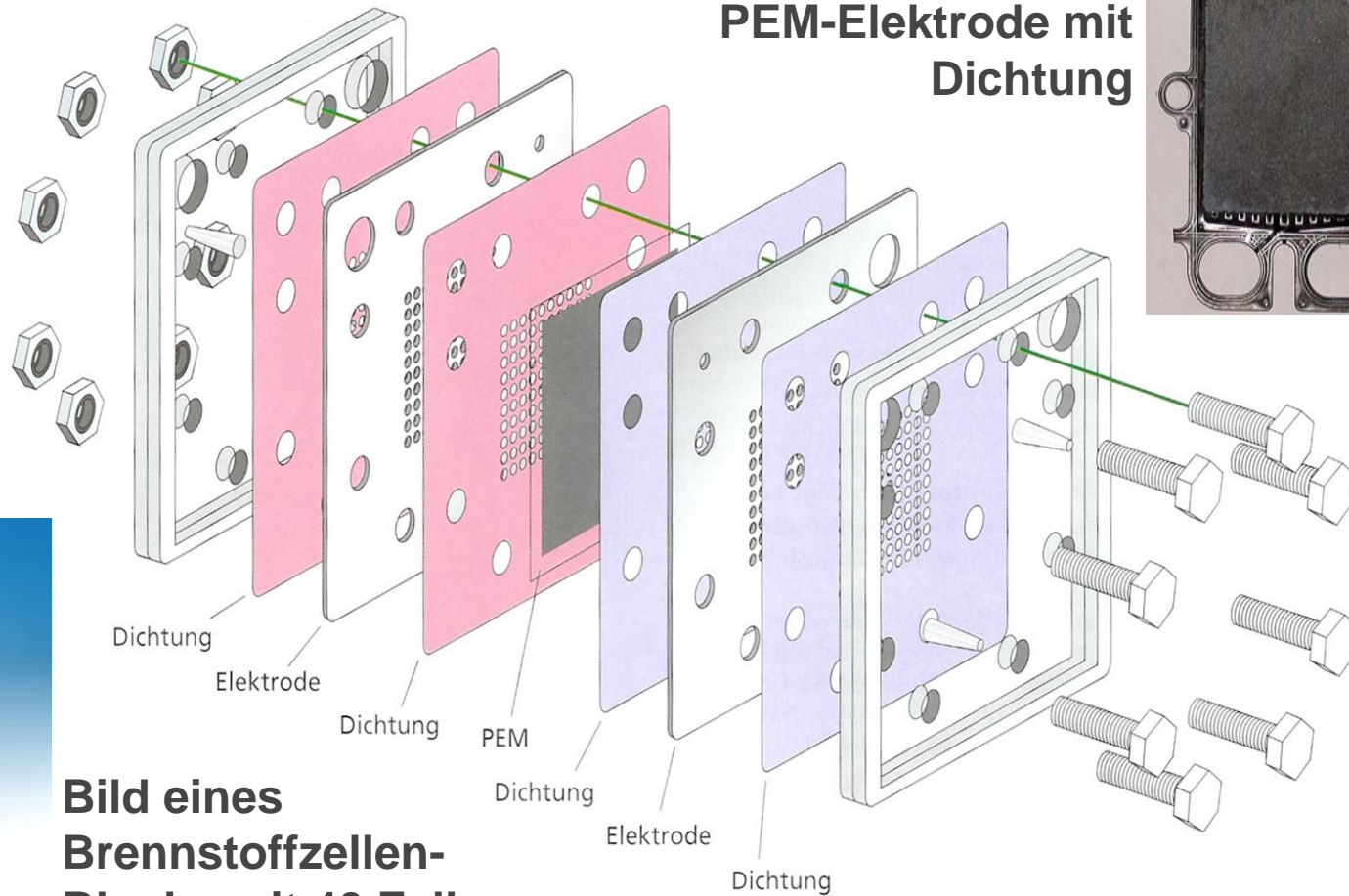
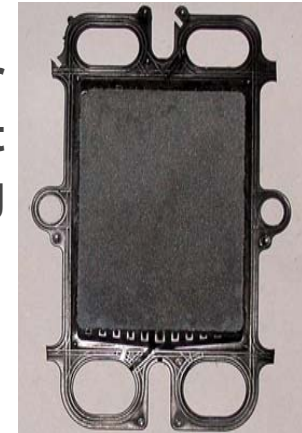
**Polymerelektrolyt-Membran**

- **Elektrolyt-Membran**  
Protonenleiter aber elektrischer Isolator
- **Kathode:** Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) wird reduziert (erhält Elektronen)
- **Typische Werte unter Last:**  
0,7 V Spannung  
0,75 A/cm<sup>2</sup> Strom

# Der Aufbau eines PEFC-Brennstoffzellenstapels

## Prinzip eines Brennstoffzellenblocks

## Bild einer PEM-Elektrode mit Dichtung



## Bild eines Brennstoffzellen-Blocks mit 40 Zellen



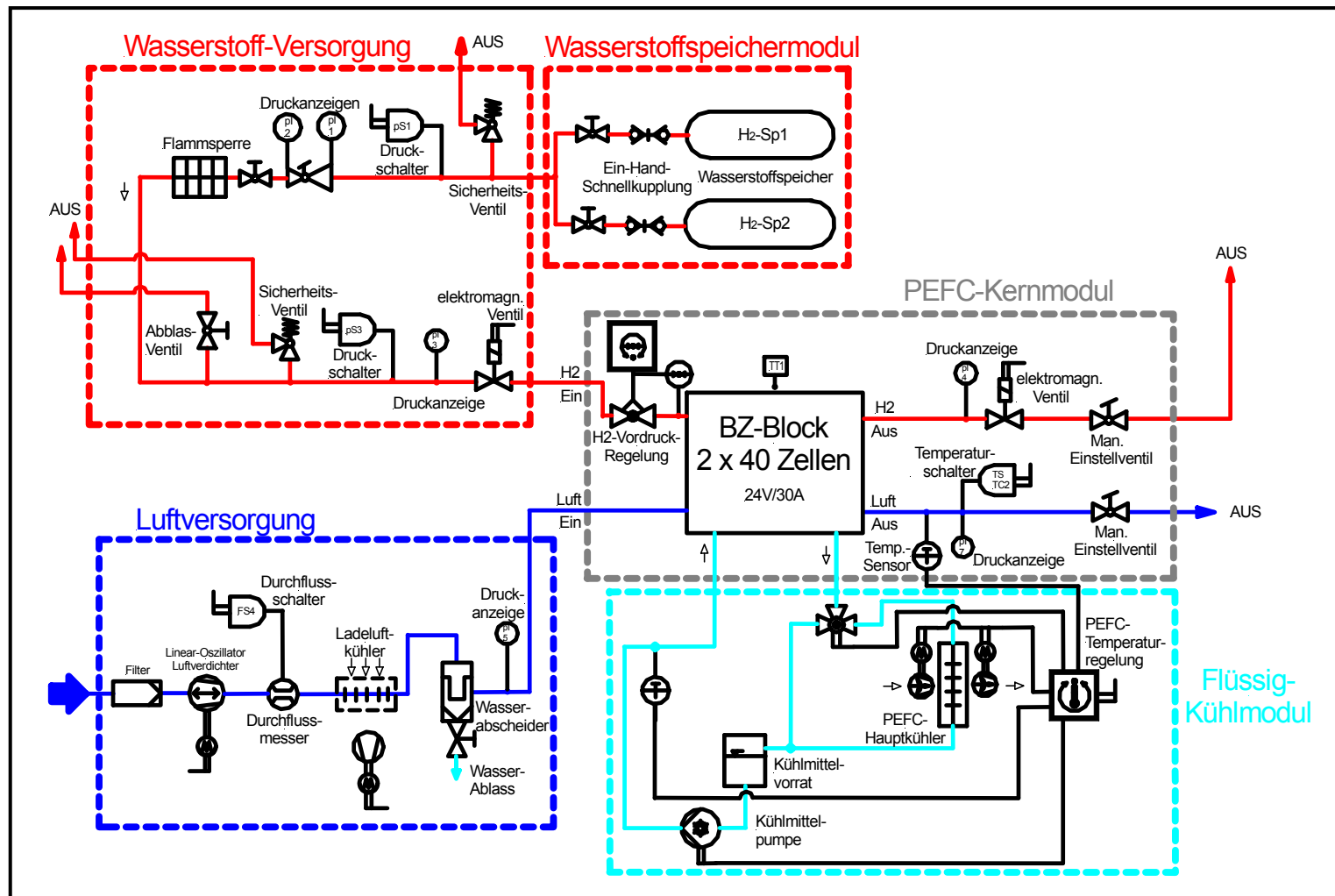


## Was braucht man, damit eine Niedertemperatur-Brennstoffzelle funktioniert?

- ▶ Brennstoff: **WASSERSTOFF**
- ▶ Oxidationsmittel: **SAUERSTOFF** aus der Umgebungsluft
- ▶ **KÜHLMITTEL** zur Abfuhr der Abwärme des elektrochemischen Prozesses
- ▶ **BRENNSTOFFZELLE**, der Energiewandler, in dem aus elektrochemischer Energie elektrische und thermische Energie erzeugt wird
- ▶ **ELEKTRISCHER VERBRAUCHER**, der den elektrochemischen Prozess in der **BRENNSTOFFZELLE** ablaufen lässt und den Laststrom festlegt
- ▶ **SICHERHEITSBEGRENZER** die das Auftreten von extremen Betriebswerten im Brennstoffzellenblock verhindern
- ▶ **STEUERUNG** für den Betrieb aller Systemkomponenten, die Bereitstellung elektrischer Leistung für den Eigenverbrauch und als sichere Verbindung zum Energieverbraucher

# Modulare Brennstoffzellensysteme für Fahrzeuge

## Blockschaltbild des flüssig gekühlten PEFC-Systems

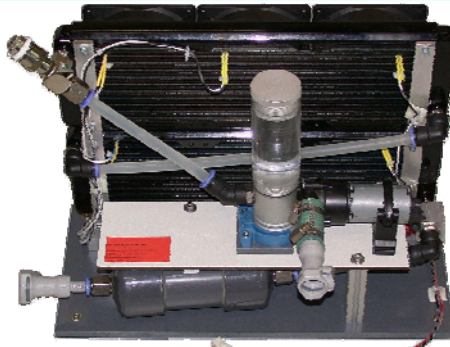




# Modulare Systemkonzepte

Flüssig gekühltes Brennstoffzellensystem in modularer Bauweise

Kühlmodul



H<sub>2</sub>-Versorgungsmodul



Luft-  
Versorgungsmodul



PEFC-Kernmodul



Steuerungsmodul





# Modulfunktionen eines Niedertemperatur-Brennstoffzellensystem

- ▶ Wasserstoffbereitstellung erfolgt aus dem Wasserstoffvorrat des **Wasserstoffspeichermoduls**
- ▶ Wasserstoffkonditionierung, d.h. lastgerechte Druck- und Mengeneinstellung erfolgt im **Wasserstoffversorgungsmodul**
- ▶ Sauerstoffbereitstellung aus der Umgebungsluft mit Filtrierung und lastgerechter Druck- und Mengeneinstellung ist die Aufgabe des **Luftversorgungsmoduls**
- ▶ Der Transport der thermischen Leistung aus der Wärmequelle Brennstoffzellenblock zu den Wärmesenken Radiatorkühler und Sorptionsspeicher (optional) ist Aufgabe des **Kühl- / Thermomanagementmoduls**
- ▶ Feineinstellung, Überwachung und Notabschaltung des elektrochemischen Prozesses im Brennstoffzellenblock sind die Aufgaben des **PEFC-Kernmoduls**
- ▶ Überwachung der Sicherheit, elektrische Versorgung aller Komponenten, Steuerung / Regelung aller Betriebsabläufe sind die Kernaufgaben des **Steuerungsmoduls**

# Flughafenschlepper R06 der Fa. Still im Urzustand



**1,1 to Eigengewicht**

**6 to Anhängelast**



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Dipl.-Ing. Andreas Brinner  
Institut für Fahrzeugkonzepte

04.04.11



# Flughafenschlepper R06 der Fa. Still im umgebauten Zustand mit Brennstoffzellen-Hybridantrieb





# Gepäckschlepper mit Brennstoffzellen-Hybridantrieb und geöffneter Haube

PEFC-System-  
Notaus

H<sub>2</sub>-Sensorik



Kühlmittel-  
Verbindungen

PEFC-System  
unter dem  
Fahrersitz

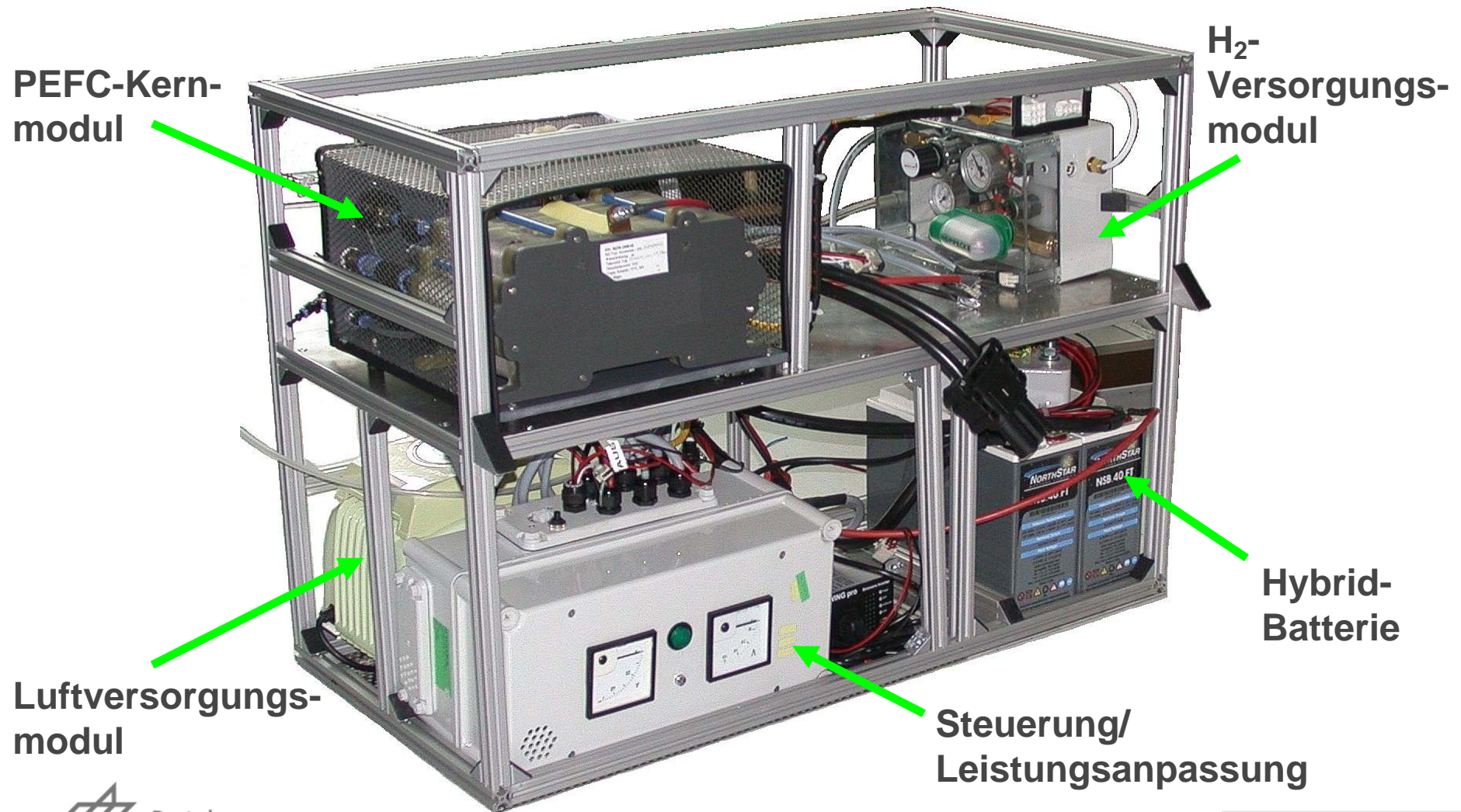


Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Dipl.-Ing. Andreas Brinner  
Institut für Fahrzeugkonzepte

04.04.11

# Modulares 2,1kW<sub>N</sub> PEFC-System mit PEFC-Block der Fa. Exergy FC (1,2 – 2,4kW identisch)





# Gepäckschlepper mit Brennstoffzellen-Hybridantrieb

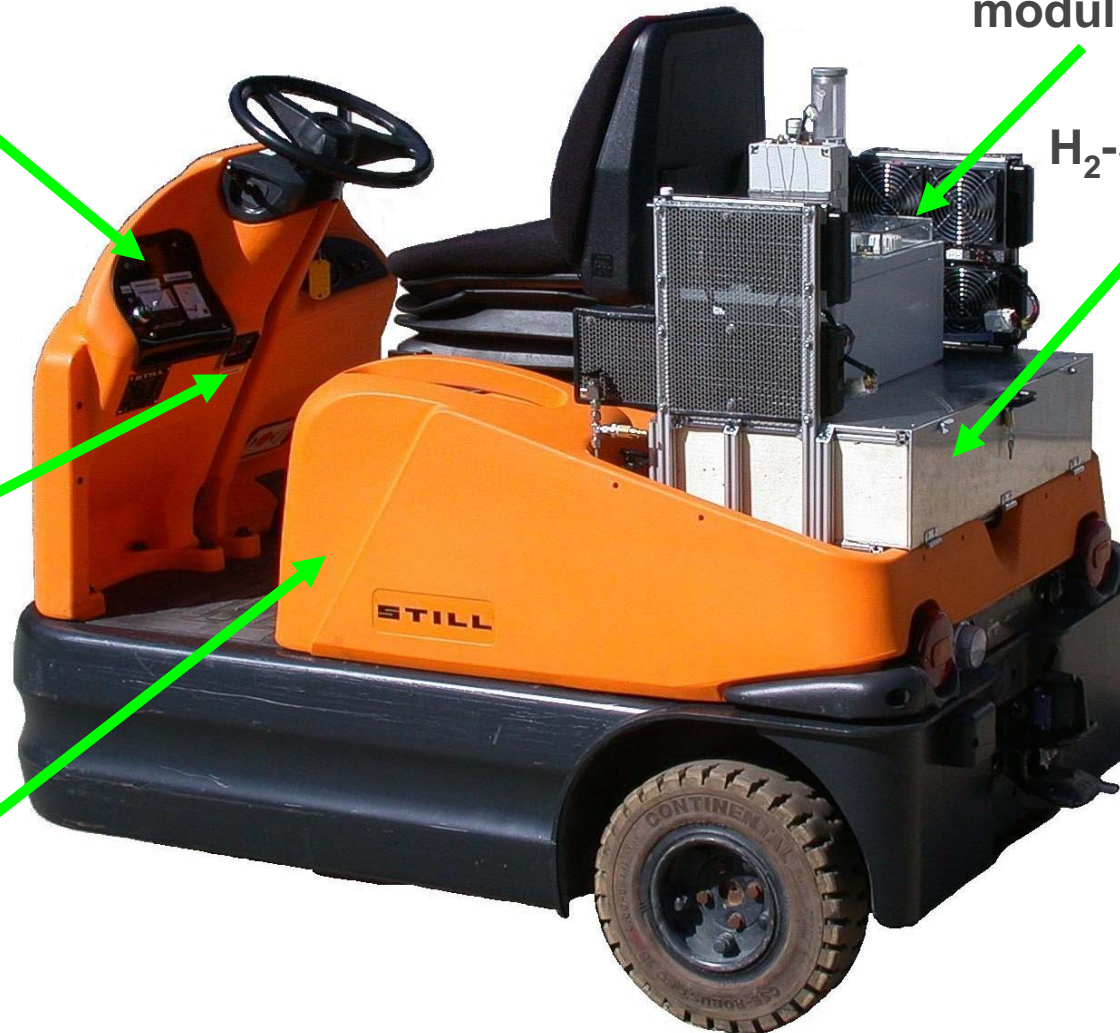
PEFC-Systembedienung

Thermomanagement-  
modul

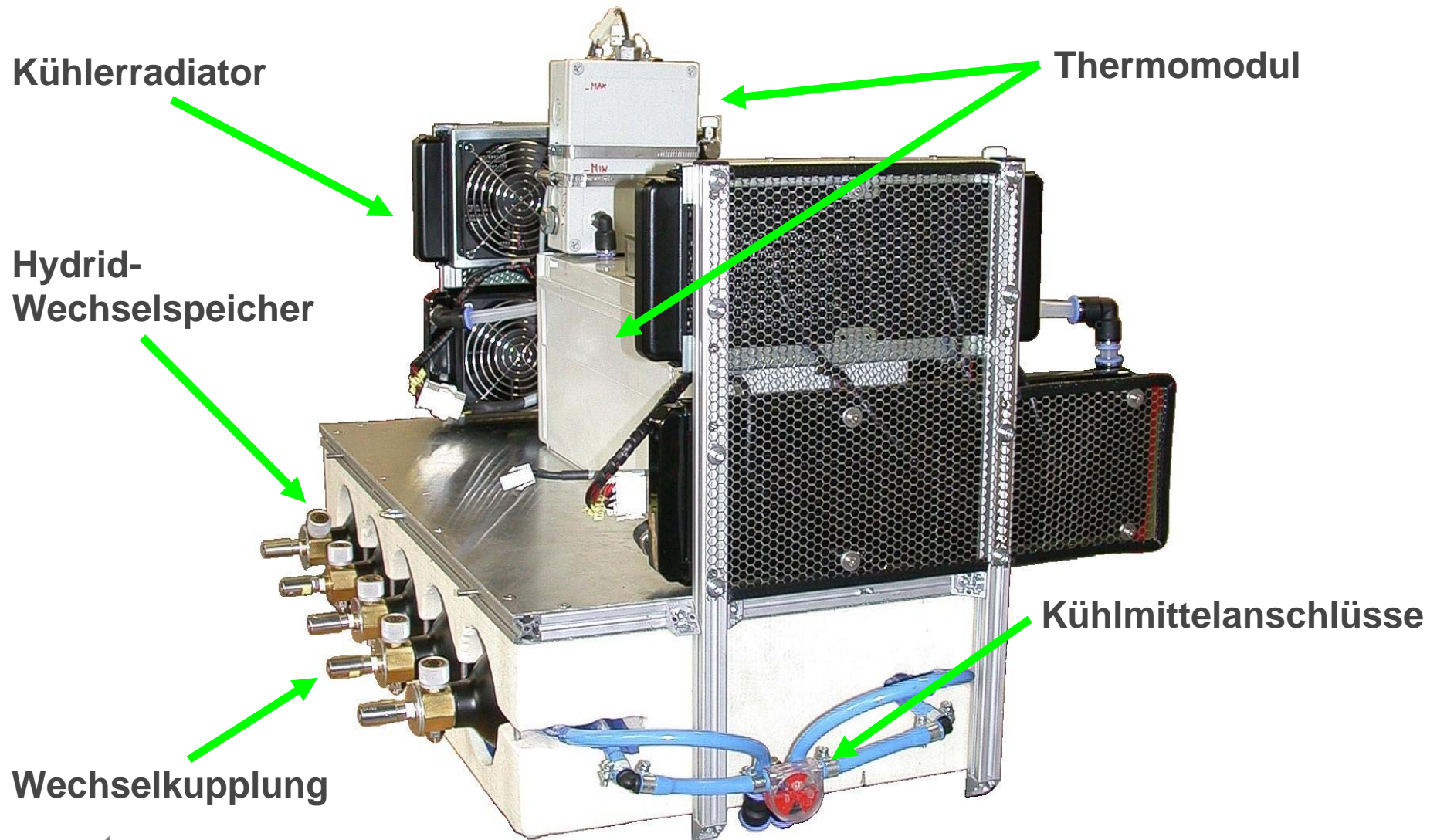
H<sub>2</sub>-Speichermodule

H<sub>2</sub>-Sicherheits-  
System

PEFC-System  
unter dem Sitz



# Thermomanagement/ H<sub>2</sub>-Speichermodule







# Neue Entwicklungsansätze für Brennstoffzellensysteme

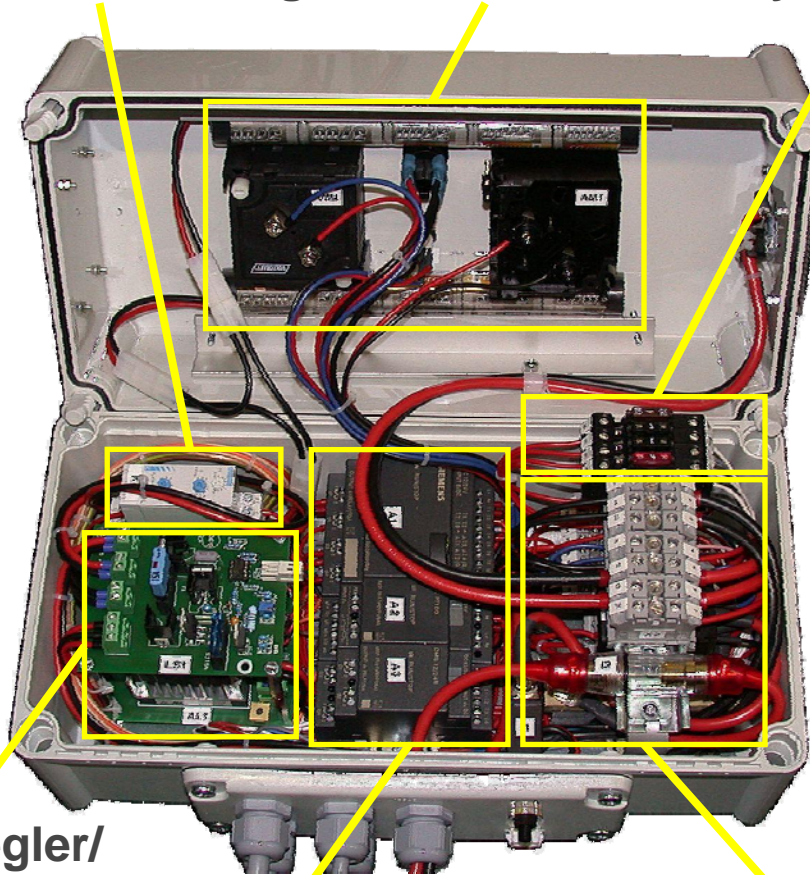
Konzepte, Subsysteme & Komponenten müssen überarbeitet werden

- ▶ **Einfachere Systemkonzepte & Entflechtung der Funktionen**
  - Geringere Kosten
  - Höhere Zuverlässigkeit
  - Bessere Anpassung an spezialisierte Applikationen & Einsatznischen
- ▶ **Modularisierung der verfahrenstechnischen & elektrischen Subsysteme**
  - Vorfertigung von Baugruppen durch spezialisierte Unternehmen
  - Höhere Stückzahlen durch Nutzung von Baugruppen in unterschiedlichen Konzeptvarianten
  - Schnellere Inbetriebnahme und einfachere Integration
- ▶ **Zusammenfassung von Funktionen in hoch integrierten Baugruppen**
  - Weniger Bauteile
  - Höhere Zuverlässigkeit
  - Geringere Kosten

# PEFC-Steuerungs- & Leistungsanpassungsmodul

Leistungsbereich: 0,3 – 2,4 kW Systemleistung identischer Aufbau

Blocküberwachung Starterakku Subsystemabsicherung



Laderegler/  
Bordnetz

Ablaufsteuerung

Leistungsanschluss



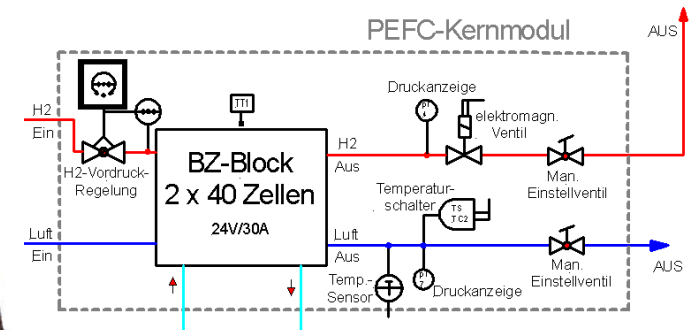
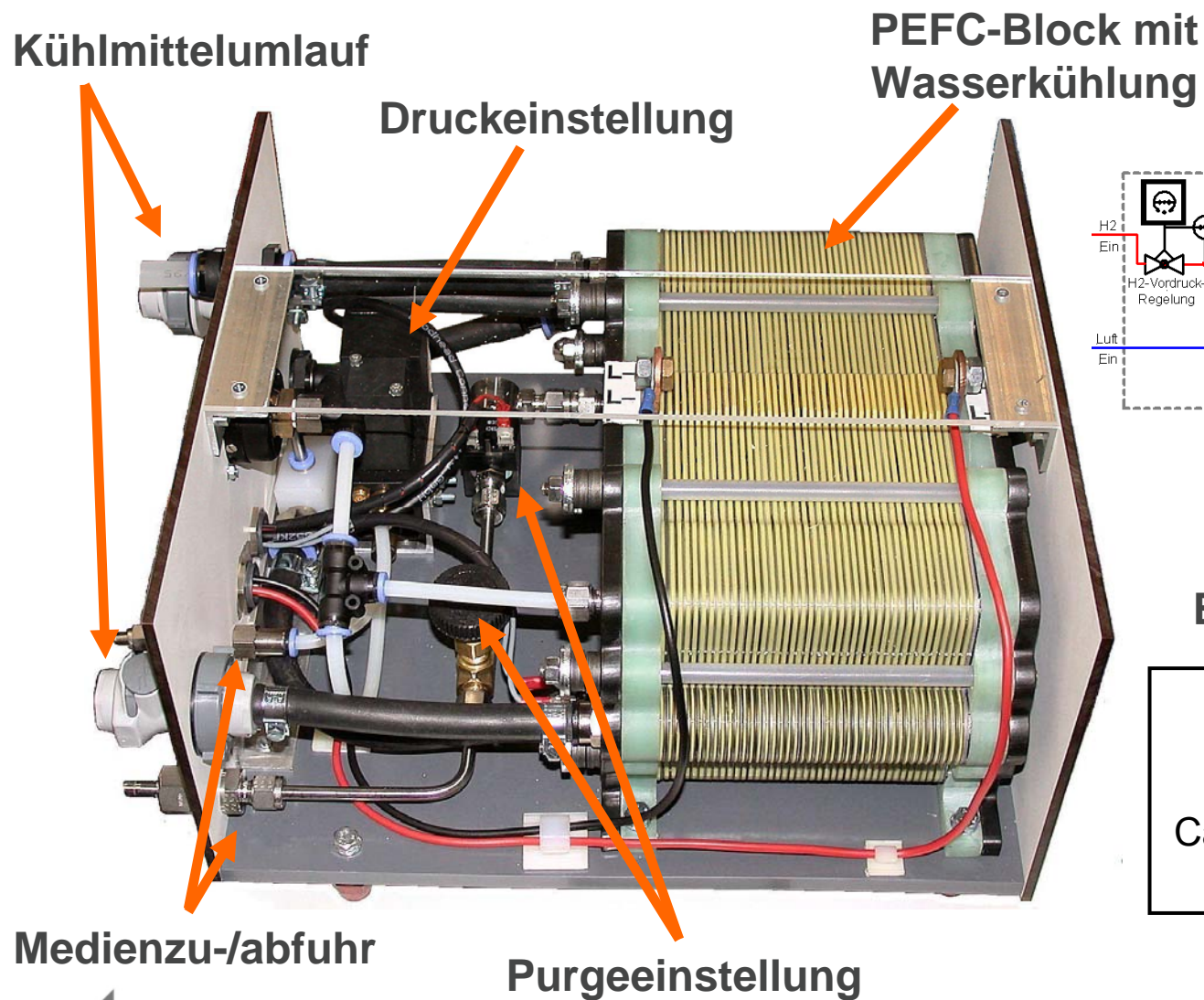
Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Dipl.-Ing. Andreas Brinner  
Institut für Fahrzeugkonzepte

04.04.11



# PEFC-Kernmodul des 1,2 – 2,4kW<sub>N</sub> Systems



## Brennstoffzellenblock



Cadriano di Granarolo (BO),  
Italien



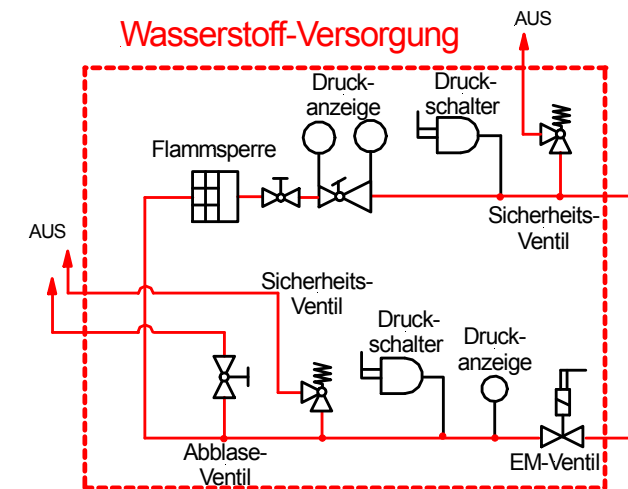
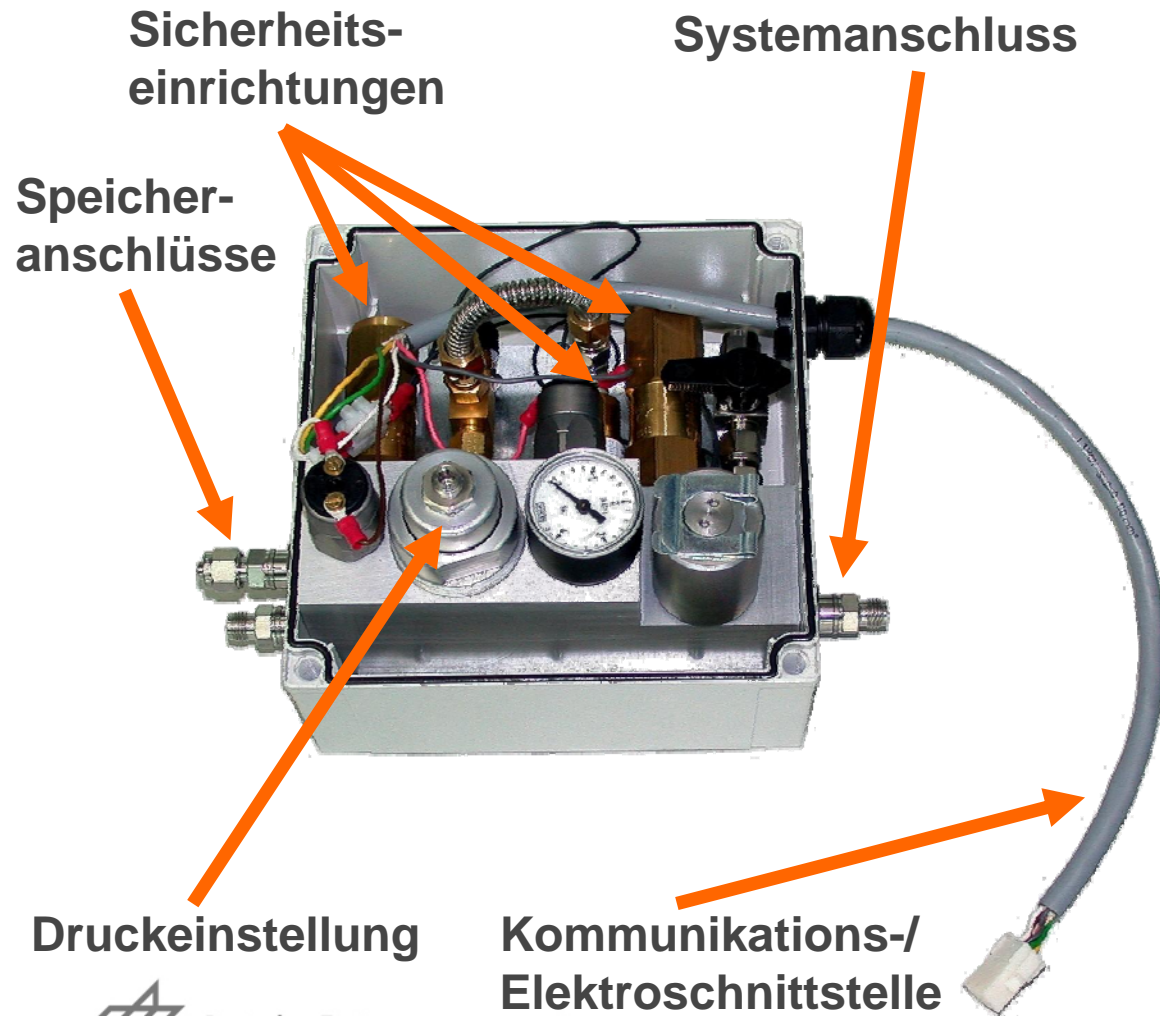
Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Dipl.-Ing. Andreas Brinner  
Institut für Fahrzeugkonzepte

04.04.11

# H<sub>2</sub>-Versorgungsmodul – Industrielösung

Modul mit Komponenten in einem zentralen Integrationsadapter



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Dipl.-Ing. Andreas Brinner  
Institut für Fahrzeugkonzepte

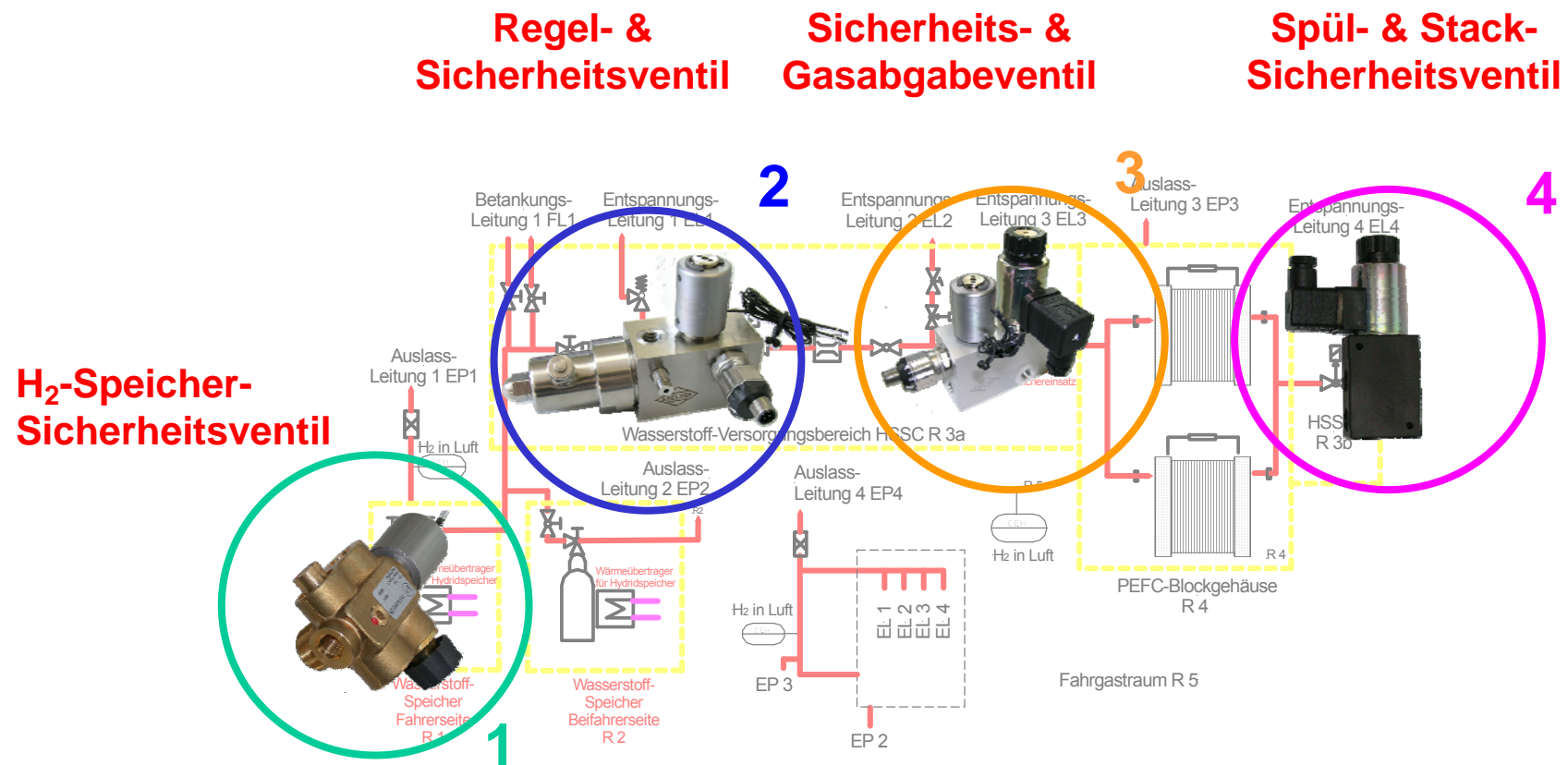
04.04.11



# Hoch integrierte Bauteile

## Die Wasserstoffversorgung für morgen

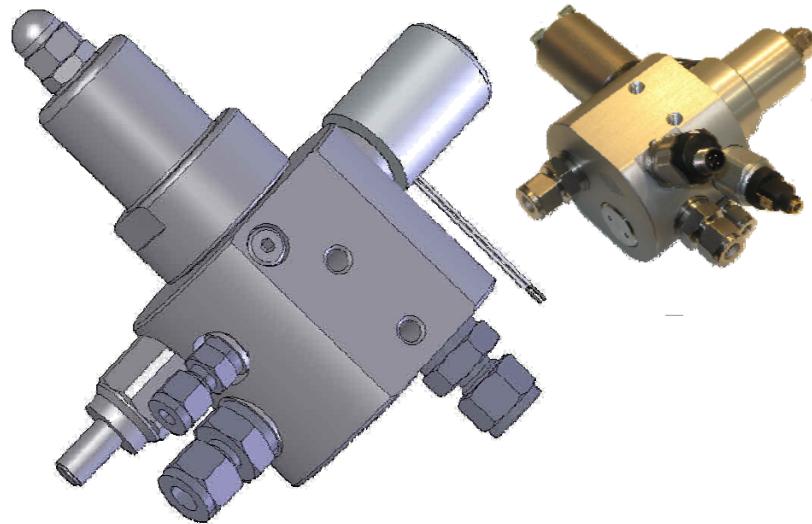
**4 Komponenten können zukünftig 35 Komponenten ersetzen**



# Lösungen für die Wasserstoffversorgung

Die neue Generation berücksichtigt bereits Feld-Erprobungsergebnisse!

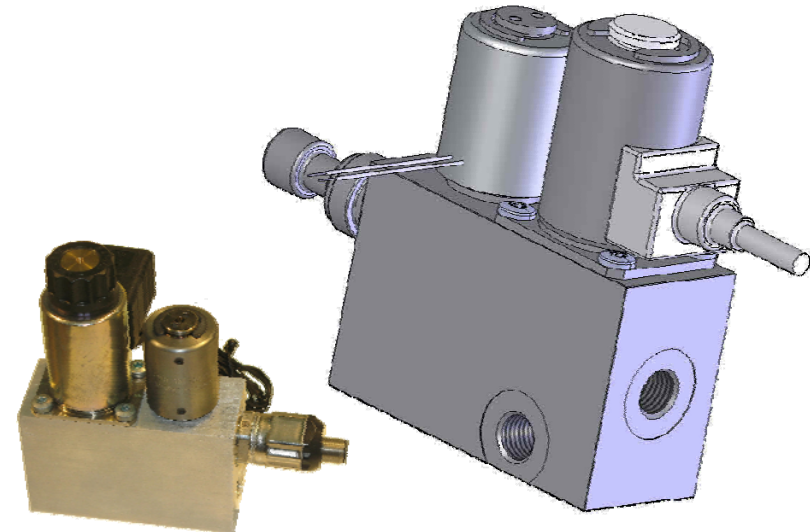
## Regel- & Sicherheitsventil, 2. Gen.



### Funktionen in einer Baugruppe:

- EM-Isolationsventil
- Druckminderung
- Integrierter Filter
- Durchflussbegrenzung
- Überströmventil
- Drucksensierung

## Sicherheits- & Gasabgabeventil, 2. Gen.



### Funktionen in einer Baugruppe:

- EM-Isolationsventil
- EM- 3/2-Wege-Ventil zur
  - Druckminderung/-regelung
  - Entlüftung
- Integrierter Filter
- Durchflussbegrenzung
- Drucksensierung
- Sicherheitsabschaltung



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Fellbach,  
Baden Württemberg

Dipl.-Ing. Andreas Brinner  
Institut für Fahrzeugkonzepte

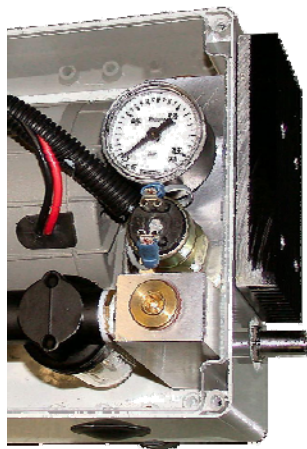
04.04.11

# PEFC Luftversorgungsmodul

## Hoch integriertes Luftverdichtermodul



Uhldingen,  
Baden Württemberg



Gehäuse-  
integrierter  
Ladeluftkühler

Verdichterkopf

Luftverdichter-  
Schwingantrieb

Kommunikations-  
Elektroschnittstelle

24V-Versorgung

Steuersignal

Notausschleife

Motorumrichter

Luftdruckabfrage

Druckluftausgang



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

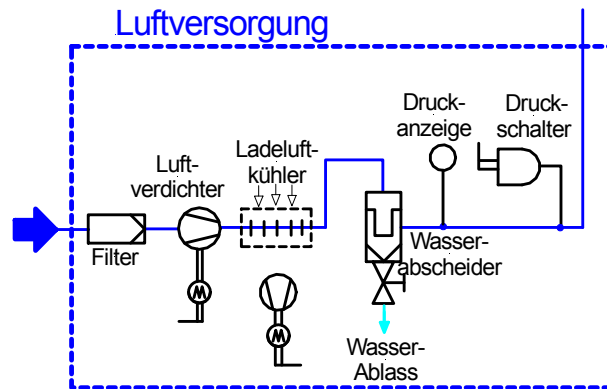
Dipl.-Ing. Andreas Brinner  
Institut für Fahrzeugkonzepte

04.04.11



# Luftversorgungsmodul – Hochintegriertes Subsystem

## Baureihe für PEFC-Systeme verschiedener Leistung



Uhldingen,  
Baden Württemberg



Luftmengenbereich 12 – 400 NI/min  
mit derzeitig erhältlichen Linearverdichtern



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

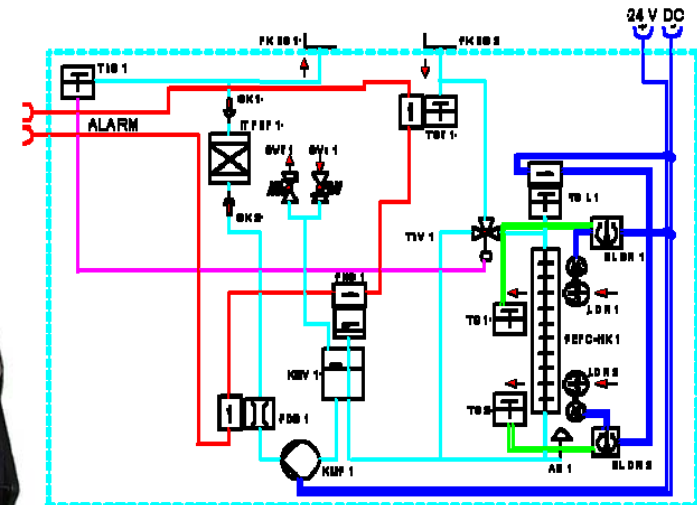
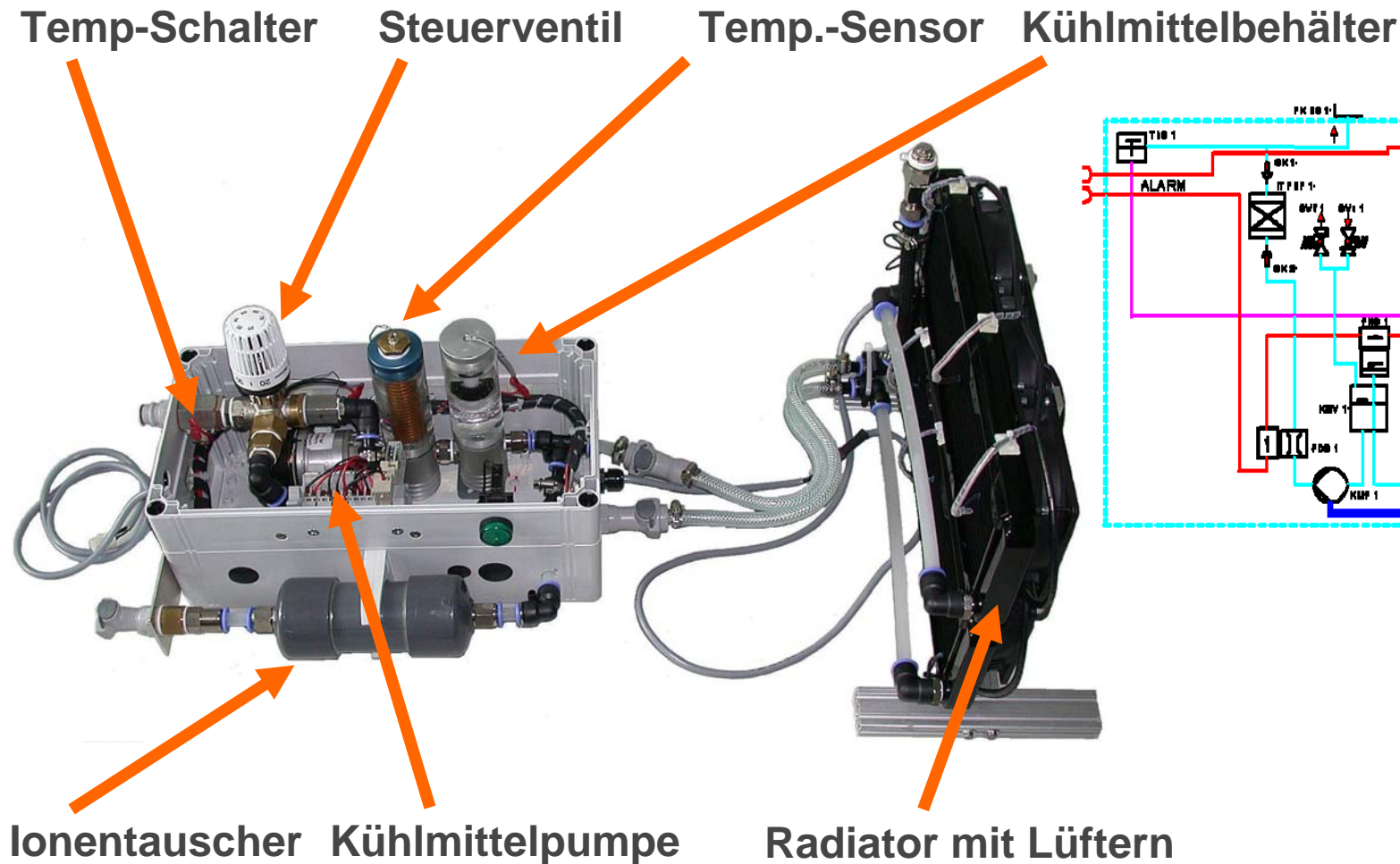
Dipl.-Ing. Andreas Brinner  
Institut für Fahrzeugkonzepte

04.04.11



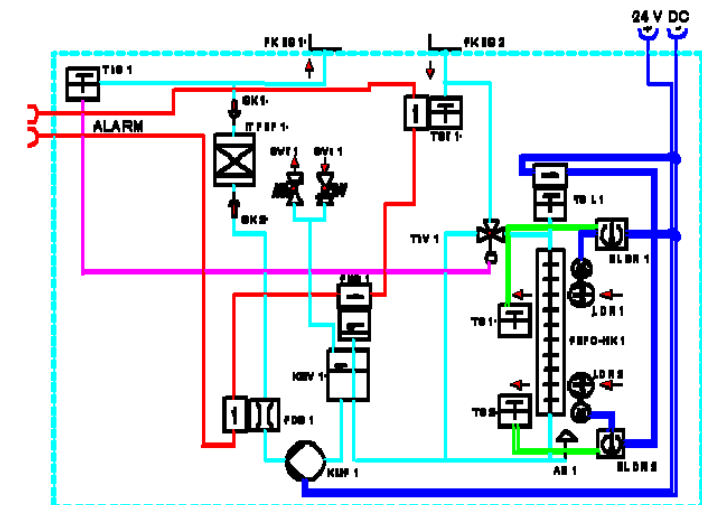
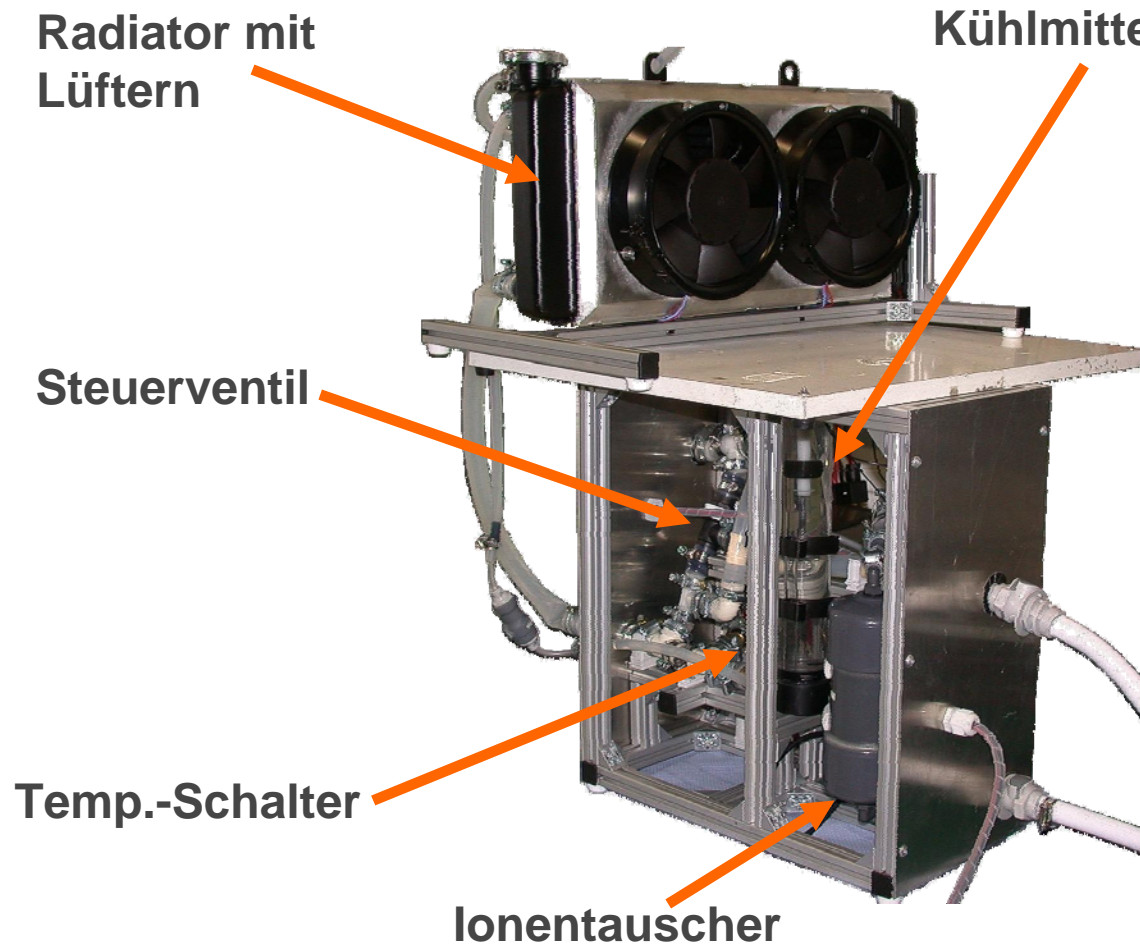
# PEFC-Thermomanagementmodul

Modul mit geregelttem Kühlmittelkreislauf und Hydridspeicheranbindung



# Kühlmodul

## 2,0 kW Kühlsystem - Industriedemonstrator von TheSys



**THE SYS**  
Experts for Thermal Solutions


Kirchentellinsfurt,  
Baden Württemberg



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

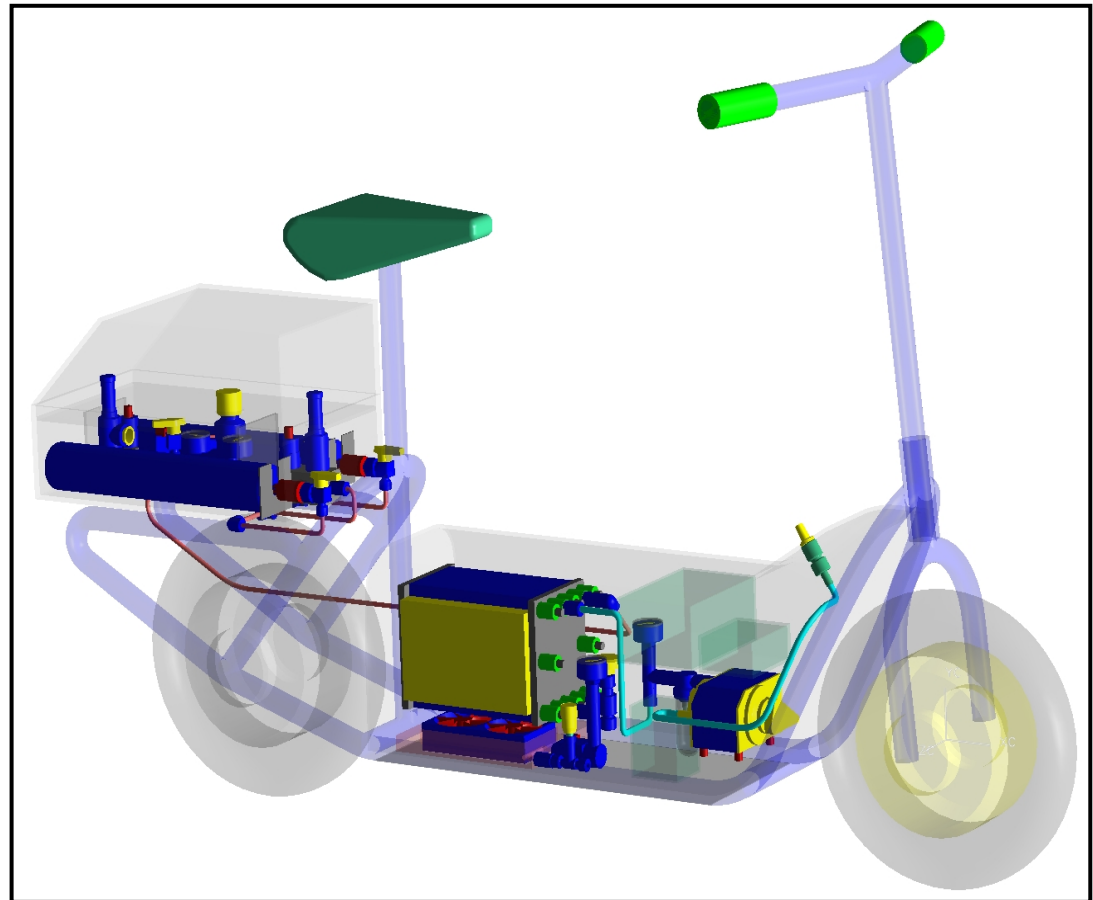
Dipl.-Ing. Andreas Brinner  
Institut für Fahrzeugkonzepte

04.04.11



Auch andere Fahrzeuge und Maschinen können mit modularen Brennstoffzellensystemen ausgerüstet werden

**Roller für den Strassenverkehr mit 1kW Leistung**





# Fahrerloses Transportsystem FTS

mit PEFC-Hybridantrieb  $0,5 \text{ kW}_p$  /  $0,7 \text{ kW}_N$  Leistung

400kg Nutzlastzuladung



FTS-Projektpartner des DLR:



Antriebe  
Umrichter



FTS-Design  
FTS-Bau



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Dipl.-Ing. Andreas Brinner  
Institut für Fahrzeugkonzepte

04.04.11



# Vorfeldfahrzeug VFF mit Brennstoffzellen-Hybridantrieb

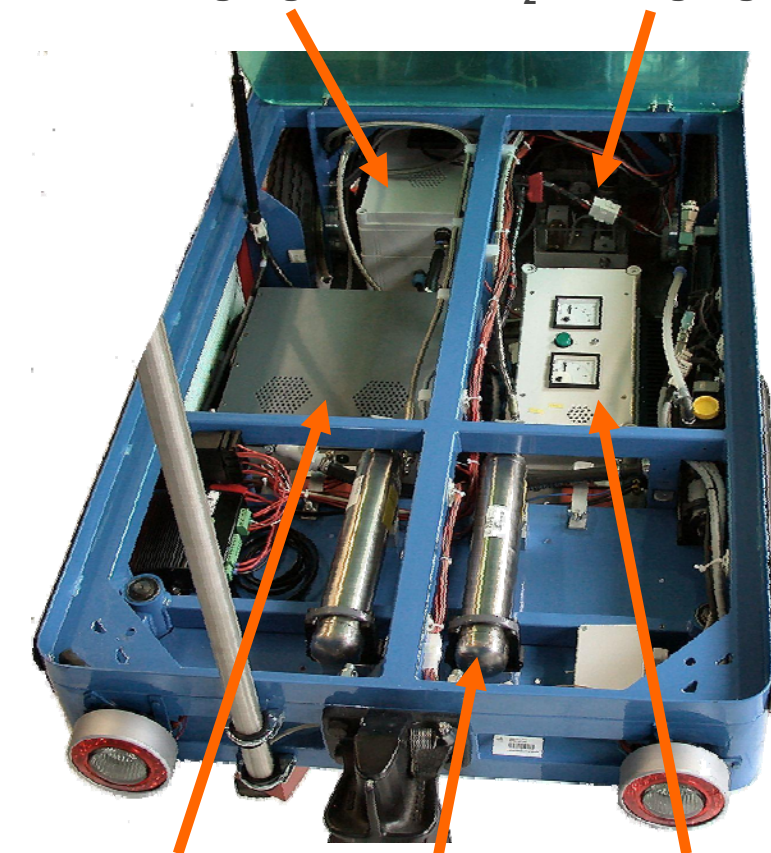
1,2kW<sub>N</sub>; 3,0kW<sub>P</sub> Leistung; 1to Zuglast

## Fahrzeugbesonderheiten:

- Brennstoffzellen-Energieversorgung
- Fahrzeugsteuerung per Joystick
- Frontantrieb mit 2 Radnabenmotoren
- Frei bewegliche Hinterräder
- Energiesparende LED-Beleuchtung



Luft-Versorgungsmodul      H<sub>2</sub>-Versorgungsmodul



PEFC-Systemmodul

Steuerungsmodul

H<sub>2</sub>-Speichermodule



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Dipl.-Ing. Andreas Brinner  
Institut für Fahrzeugkonzepte

04.04.11



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

**Für Ihre Fragen  
zu unserer  
Brennstoffzellen-Energieversorgung  
stehen wir Ihnen  
an diesem Stand gerne zur Verfügung.**

**Viel Erfolg und viel Vergnügen auf dieser Messe!!!**